

小型农业生态工程——庭院经济发展的数学模型

卞有生

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

[摘要] 农业生态工程数学模型的任务在于提供对于系统现状及其功能、结构的认识, 并用于预测系统即将发生的行为, 进一步外加某种措施, 对系统实施控制, 以求达到它的最优化。文章通过理论研究和实践试验, 建立了小型农业生态工程的数学模型。并以北京市大兴县留民营村一家农户为例, 介绍小型农业生态工程的数学模型, 及其在指导实际建设中的应用。

[关键词] 庭院经济; 数学模型; 农业生态工程

庭院经济是我国最近几年迅速发展起来的一种农业生态工程类型。其特点是以庭院经济为主, 使生产环境和居住环境有机结合, 充分利用每一寸土地资源和太阳辐射能, 以获得经济、环境和社会效益。当前庭院经济已成为我国生态农业建设的一个重要部分。

建立庭院经济发展数学模型的目的在于解决农民在利用家庭庭院的零星土地和闲散劳力增加收益的优化问题, 在我国农村具有极其普遍的意义。文章选择北京市大兴县留民营村的一户普通农民家庭介绍庭院经济数学模型的建立和应用。

1 农户基本情况介绍

李希歧是留民营村的一位普通农民, 全家4口人, 3个劳动力, 有住房5间, 容积 8 m^3 的沼气池1口, 金属架塑料大棚1个, 面积 27 m^2 。大棚建于沼气池上, 冬天既可保温, 棚内种植蔬菜。太阳灶1个, 采光面积 2.0 m^2 , 太阳能洗澡器1个。家中常年养猪2头, 鸡20只, 鸭4只, 鹅1只, 大棚内一年四季除严冬外, 蔬菜不断。

从生态学的角度看, 一个家庭(或一个庭院)也是一个人工生态系统, 这个系统同样由生产者、消费者和还原者组成, 存在着能量流动和物质循环,

并在这种不停地流动和循环中变化、发展。因此具有一般生态系统的特征和功能, 庭院系统作为集体经营形式下的小型人工系统, 不仅受到人的干预, 还受到外界情况的很大影响。这也是一般家庭生态系统所具有的特点。

从生态学角度看, 该系统主要由以下三部分组成:

生产者: 绿色植物, 主要为各种蔬菜。

消费者: 这里仅考虑草食动物的初级消费者, 如鸡、猪、鸭、鹅等。

还原者: 细菌, 主要是分解农业有机废物、产生沼气的甲烷菌。

系统组成及各组份间的关系如图1所示。

2 庭院经济数学模型

2.1 系统的贡献

庭院经济系统的贡献由各子系统的输入输出量来体现, 输入量表示为负贡献(即消费), 输出量为正贡献, 以向量 G 来表示:

$$G = (G_0, G_1, \dots, G_{n-1}, G_n, G_{n+1})。 (1)$$

其中, G_0 为系统的实际消费; G_{n+1} 为系统的有效贡献; G_1, G_2, \dots, G_n 为系统中第一个子系统、第二个子系统...第 n 个子系统的贡献。

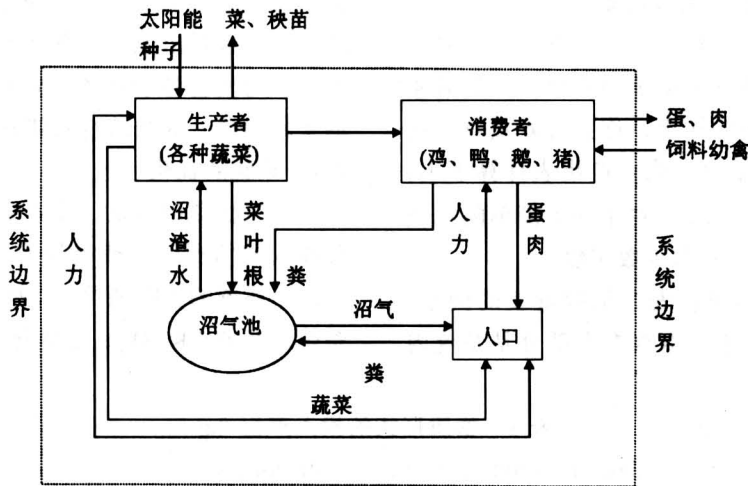


图 1 庭院生态系统的结构简图

Fig.1 Structure diagram of household eco-system

例如：第一个子系统为初级生产者子系统，以 G_1 表示；第二个子系统为初级消费者子系统，以 G_2 表示；第三个子系统为分解者（还原者）子系统，以 G_3 表示，此时 $n=3$ 。

2.1.1 初级生产者子系统的贡献 G_1 为初级生产者子系统的贡献，以一个 m 维的向量表示：

$$G_1 = (g_{11}, g_{12}, \dots, g_{1m}), \quad (2)$$

其中， $g_{11}, g_{12}, \dots, g_{1m}$ 为系统中 m 种作物贡献。在本系统中

g_{11}/kg	黄瓜 81.75	黄瓜秧 1.75
g_{12}/kg	蕃茄 58.5	蕃茄秆 7.5
\vdots		
g_{1m}/kg	辣椒 70.5	辣椒秆 5

所以：

$$g_{ij} = (g_{ij}^1, g_{ij}^2), \quad (3)$$

g_{ij}^1 表示第 i 个子系统中的第 j 项实体的第一类贡献。
 g_{ij}^2 表示第 i 个子系统中的第 j 项实体的第二类贡献。

当贡献以能量表示时，贡献以 e_{ij} 表示

$$e_{ij} = g_{ij} \alpha_{ij}, \quad (4)$$

其中： $\alpha_{ij} = \begin{bmatrix} \alpha_{ij}^1 \\ \alpha_{ij}^2 \end{bmatrix}$ 称为能量系数列向量； α_{ij}^1 是对应于 g_{ij}^1 的能量转换系数； α_{ij}^2 是对应于 g_{ij}^2 的能量转换系数。

当贡献以货币表示时，贡献以 d_{ij} 表示

$$d_{ij} = g_{ij} b_{ij}, \quad (5)$$

其中： $b_{ij} = \begin{bmatrix} B_{ij}^1 \\ B_{ij}^2 \end{bmatrix}$ 称为单价列向量； B_{ij}^1 是 g_{ij}^1 的单

价； B_{ij}^2 是 g_{ij}^2 的单价。

2.1.2 初级消费者子系统和分解者子系统的贡献
当 $i=2$ 时，上述符号分别表示初级消费者子系统内的各类贡献参数；当 $i=3$ 时，上述符号分别表示分解者子系统内的各类贡献参数。

所以任何一个子系统的贡献均可表示为以下形式：

$$g_{ij} = (g_{ij}^k), \text{ (以实物表示)} \quad (6)$$

其中， $k=1, 2, 3, \dots, p$ 。

$$e_{ij} = g_{ij} \alpha_{ij} \quad \text{(以能量表示)}, \quad (7)$$

其中 $\alpha_{ij} = (\alpha_{ij}^k), k=1, 2, 3, \dots, p$ 。

$$d_{ij} = g_{ij} b_{ij} \quad \text{(以货币表示)} \quad (8)$$

其中 $b_{ij} = (B_{ij}^k), k=1, 2, 3, \dots, p$ 。

2.2 系统的实际消费

一个子系统的消费相当于子系统的输入，如果它来自系统内部的另一个子系统，则必为另一个子系统输出中的一部分或全部。此时它表现有子系统贡献对它的分配情况，因此无需其它数学符号表示。

来自系统外部的输入，称为该子系统的实际消费，记作：

$g_{i,0}$ ——第 i 个子系统的实际消费，

例如：饲料、化肥，非系统内部的秸秆等。

也可以 $e_{i,0}$ 和 $d_{i,0}$ 表示。

因此，系统的实际消费：

$$G_0 = \sum_{i=1}^n g_{i,0} \quad (9)$$

2.3 系统的投入产出表和有效贡献

一个子系统的贡献表现为两种类型，一是对系统内部的贡献，即对其它子系统的贡献；一是对系统外部的贡献，即系统的输出，称为有效贡献，用 G_{m+1} 表示。它可以由系统的投入产出表计算求出，投入产出见表 1，表 2，表 3。对于一个简单的系统来说，表中大部分是 0，只有少数实数。

表 1 是实物表的例子；表 2 是能量表的例子；表 3 是货币表的例子。表中双线左上部分是系统内

部的投入产出表，这是一种改造过的投入产出表，通过它可以看出系统内各子系统中各种产品或部分产品，对其它各子系统的贡献。双线的下面是系统的实际消费，双线的右面部分是系统的有效贡献。

2.4 系统的优化

系统优化的目的，是在农户可能对系统施加外部输入的情况下，使得原有系统的有效贡献最大。因此，系统的实际消费 G_0 是系统优化的边界条件，系统的有效贡献 D_{m+1} 是优化的目标函数。

表 1 物质形式的投入产出/kg

Table 1 Input and output in the form of materials

需方 供方		初级生产者子系统	初级消费者子系统			分解者子系统	外部系统	
			猪	鸡	鸭		农户消费	出售
初级生产者	黄 瓜	0	0	0	0	0	16.7	25.05
	黄瓜秧	0	0	0	0	0.75	0	0
	蕃 茄	0	0	0	0	0	23.4	35.1
	蕃茄秧	0	0	0	0	7.5	0	0
	芹 菜	0	0	0	0	0	24	36
	辣 椒	0	0	0	0	0	28	42
	辣椒秧	0	0	0	0	5	0	0
	韭 菜	0	0	0	0	0	10	15
	黄瓜(晚)	0	0	0	0	0	16	24
	黄瓜秧	0	0	0	0	1	0	0
初级消费者	猪 肉	0	0	0	0	0	0	284.4
	猪 粪	0	0	0	0	2 322	0	0
	鸡 蛋	0	0	0	0	0	26.3	236.5
	鸡 肉	0	0	0	0	0	0	0
	鸡 粪	50	914.8	0	0	0	0	0
	鸭 蛋	0	0	0	0	0	0	72
	鸭 肉	0	0	0	0	0	0	0
	鸭 粪	0	0	0	0	0	0	288
分解者	沼 气	0	0	0	0	0	140 m ³	0
	沼 水	440	0	0	0	0	0	5 560
	沼 渣	0	0	0	0	0	0	3 300
劳 动 者 (农户)	人 工	12.5 个工	0	0	0	7 个工		
	肥 料	0	0	0	0	1 800 (牛粪)		
	饲 料	0	1 296	822.6	360	0		
	秸 杆	0	0	0	0	400		
	人粪尿	0	0	0	0	2000		

表 2 能量形式的投入产出/kg

Table 2 Input and output in the form of Energy

需方 供方	初级生产者子系统	初级消费者子系统			分解者子系统	外部系统	
		猪	鸡	鸭		农户消费	出售
初级生产者	黄 瓜	0	0	0	0	9 708.28	13 639.84
	黄瓜秧	0	0	0	10 669.2	0	0
	蕃 茄	0	0	0	0	12 719.36	19 120.88
	蕃茄秧	0	0	0	106 692	0	0
	芹 菜	0	0	0	0	20 083.2	30 124.8
	辣 椒	0	0	0	0	28 116.43	42 174.72
	辣椒秧	0	0	0	71 128	0	0
	韭 菜	0	0	0	0	12 552	18 828
	黄瓜(晚)	0	0	0	0	8 702.72	13 054.08
	黄瓜秧	0	0	0	14 225.6	0	0
初级消费者	猪 肉	0	0	0	0	0	6 901 591.68
	猪 粪	0	0	0	8 995 223.44	0	0
	鸡 蛋	0	0	0	0	182 506.08	1 642 763.92
	鸡 肉	0	0	0	0	0	0
	鸡 粪	132 298.08	2 540 315.6	0	0	0	0
	鸭 蛋	0	0	0	0	0	560 321.28
	鸭 肉	0	0	0	0	0	0
	鸭 粪	0	0	0	0	0	1 611 551.28
	沼 气	0	0	0	0	2 928 800	0
	沼 水	33 764.88	0	0	0	0	426 475.12
分解者	沼 渣	0	0	0	0	0	7 283 298
	人 工	73 220	0	0	41 003.2		
	肥 料	0	0	0	1 989 743.04		
劳 动 者 (农户)	饲 料	0	21 064 975.6	1 257 710.4	5 480 872.64	0	
	秸 杆	0	0	0	5 106 655.68		
	人粪尿	0	0	0	3 533 973.76		

如果农户以取得最大的经济收入为目的，可采用货币形式的投入产出表进行分析；如果以取得最高能量为目的，则可采用能量形式的投入产出表。下面我们取得最大的经济收入为目的，对货币形式的投入产出表进行一些分析。

给定边界条件 D_0 ，目标函数 D_{m+1} ，若 D_0 不变，增加 D_{m+1} 至最大，则系统可取得最大的经济收入。

表 4 中， $D_0 = 1 016.02$ 元；

$D_{m+1} = 1 530.88$ 元。

仍以李希岐家庭为例（参见表 4），初级生产者

每投入 100 元，即可回收 1 075.95 元；初级消费者中，每投入 100 元，猪可收回 110.58 元；鸡可收回 163.66 元；鸭可收回 102.25 元。还可以根据沼气的费用效益计算出，每投资 100 元，可收回 118 元（投资主要为建池费和投料成本费，效益主要是沼气和沼气渣、沼气水折算的经济收入）。根据以上数据可以比较出系统中有效贡献最大者是初级生产者，其次是鸡，有效贡献最小的是鸭。因此，若将鸭的那部分实际消费，加到有效贡献大的鸡上去，这样在 D_0 不变的情况下，有效贡献可增加 104.09 元，即 D_{m+1} 可增加到 1 634.17 元。

表3 货币形式的投入产出/元

Table 3 Input and output in the form of currency

需方 供方		初级生产者子系统	初级消费者子系统			分解者子系统	外部系统	
			猪	鸡	鸭		农户消费	出售
初级生产者	黄 瓜	0	0	0	0	0	10.02	15.03
	黄瓜秧	0	0	0	0	0.06	0	0
	蕃 茄	0	0	0	0	0	16.38	24.57
	蕃茄秧	0	0	0	0	0.60	0	0
	芹 菜	0	0	0	0	0	9.60	14.40
	辣 椒	0	0	0	0	0	11.20	16.80
	辣椒秧	0	0	0	0	0.40	0	0
	韭 菜	0	0	0	0	0	2.00	3.00
	黄瓜(晚)	0	0	0	0	0	25.60	38.4
	黄瓜秧	0	0	0	0	0.08	0	0
初级消费者	猪 肉	0	0	0	0	0	0	540.38
	猪 粪	0	0	0	0	46.44	0	0
	鸡 蛋	0	0	0	0	0	63.07	567.65
	鸡 肉	0	0	0	0	0	0	0
	鸡 粪	3.50	64.04	0	0	0	0	0
	鸭 蛋	0	0	0	0	0	0	172.80
	鸭 肉	0	0	0	0	0	0	0
	鸭 粪	0	0	0	0	0	0	11.52
	沼 气	0	0	0	0	0	16.58	0
	沼 水	440	0	0	0	0	0	5.32
分解者	沼 渣	0	0	0	0	0	0	54.88
	人 工	17.38	0	0	0	9.73		
	肥 料	0	0	0	0	13.00		
劳动 者 (农户)	饲 料	0	440.64	378.40	165.60	0		
	秸 杆	0	0	0	0	8.00		
	人粪尿	0	0	0	0	28.30		

表4 李希岐户庭院系统经济效益汇总表

Table 4 Economic benefit gathering of Li Xiqi household system

	蔬菜	鸡	鸭	猪	合计
产值/元	187.00	630.72	172.80	540.36	
成本/元	17.33	385.40	169.60	488.64	1 530.88
利润/元	169.62	245.32	3.20	51.72	1 061.02
占总产值比重/%	12.22	41.20	11.29	35.30	469.86
占总成本比重/%	1.64	36.22	15.98	46.05	100
占总利润比重/%	36.10	52.21	0.68	11.11	100
效益费用比	10.76	1.64	1.02	1.11	1.44
土地利用效率	524.92 kg/hm ²				
商品率/%	60	90	100	100	
成本利润率/%	975.95	63.65	1.89	10.58	44.28

同样,若 D_{m+1} 不变,减少 D_0 至最小,也就是有效贡献不变的情况下,减少实际消费,这样也可以达到取得最大经济收入之目的。如李希岐家庭系统取消养鸭,以养鸡来代替,则维持鸭的有效贡献 172.80 元(表 4),只需要投入 105.58 元,从而节省了实际消费 64.02 元。

经过以上分析,可以看出,建立蔬菜—鸡—猪—沼气池的小循环系统,可以在保持获得能量供应的情况下,同时获得最大的 D_{m+1} 即最大的经济收入。

留民营村的实践表明,建立这种小型的循环系统,并不增加农户很大的负担,但是却产生了较为

明显的经济、生态环境和社会效益。这样的小型循环系统,不论在我国南方地区或北方地区都可做到,是可以推广的一种家庭副业性质的经营方式。特别在当前以户为单位的家庭承包制在农村经济中占主体的情况下,更具有普遍意义。

参考文献

- [1] 卞有生. 留民营生态农业系统[M]. 北京: 环境科学出版社, 1987
- [2] 刘书楷. 各国可持续农业发展道路与资源利用模式比较[J]. 生态农业研究, 1999, 7(1): 23
- [3] 卞有生, 宋秀杰. 能量生态学在农业系统研究中的应用[J]. 农村生态环境, 1994, 10(1): 9

The Mathematic Model of Small-sized Agro-ecological Engineering (Courtyard Economy)

Bian Yousheng

(Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China)

[Abstract] Mathematic model of agricultural eco-engineering is to provide the knowledge of system's present situation, function and structure. The model is also used in the forecast system for something that is about to happen and taking an additional measure to control the system for achieving the system optimization. Based on theoretic study and practice, a mathematic model of small sized agricultural eco-engineering has been established.

Taking a farmer's family in Liumingying Village of Daxing County, Beijing, as an example, the paper introduces the mathematic model of small sized agricultural eco-engineering and its application in practice.

[Key words] courtyard economy; mathematic model; agricultural eco-engineering

全国第八届可拓工程年会

可拓学(原称物元分析)是研究事物的可拓性和开拓的规律与方法,并用于处理矛盾问题的新学科。自 1983 年提出以来,已逐步形成独有的理论框架和应用方法。

为了交流该学科的研究成果,讨论 21 世纪初可拓学及其应用的发展规划,全国第八届可拓工程年会定于 2000 年 8 月 5~7 日在广州广东工业大学召开,已有美国、台湾、香港和大陆各地学者一百多人报名参加。年会论文将介绍可拓学在工程技术、经济、管理和医学等方面的应用。专题报告包括:

可拓检测方法研究;机械产品智能化概念设计的可拓方法及其应用;台湾可拓学研究概况;可拓信息的数学处理及其应用;可拓锁研究;可拓营销研究;可拓方法在中医研究中的应用;基于可拓方法的产品构思管理系统等。

年会的优秀论文将推荐在《中国工程科学》、其它核心期刊和广东工业大学学报发表。

(广东工业大学可拓工程研究所, 广州 510080)